



Title	4日高地方における微小地震観測中に観測された余震 (1964~1966年)
Author(s)	本谷, 義信; MOTOYA, Yoshinobu
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 23, 29-47
Issue Date	1970-03-18
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.23.29
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13972
Type	departmental bulletin paper
File Information	23_p29-47.pdf



4. 日高地方における微小地震観測中に 観測された余震 (1964~1966 年)

本谷 義 信

(北海道大学理学部浦河地震観測所)

— 昭和 44 年 10 月 受 理 —

I. はじめに

北海道周辺の地震活動を調べる目的で、北海道内各地で臨時に短期間の微小地震観測がこれまで何回も行なわれてきたが、これらの観測結果を時間的に補足するために日高地方上杵臼において連続観測が行なわれた。その結果の一部は臨時観測の結果の解析の際に使われているが、ここでは全体の観測結果を報告し、この観測中に記録された余震について調べたことを述べる。

なお、この観測が行なわれたのと同じ地点に北海道大学理学部付属浦河地震観測所が設立され、1967年7月からより完全な地震観測が続けられている²⁾。

II. 観 測

観測は1964年4月28日から1966年11月に浦河地震観測所の建設工事が始まるまで続けられたが、実際には条件の悪い厳冬期はほとんど欠測している。観測場所は浦河郡浦河町上杵臼浦河第3中学校で、地震計は現在の観測所の地震計室より南へ約250m離れた地点に置かれた。記録は上下動一成分のス書きで、2日毎の記録用紙の交換は中学校教員にお願いした。観測点の位置、観測装置、総合周波数特性、観測期間中の感度を第1図に示す。

III. 地震の発生頻度

観測された地震はすべて読取って験震表を作成してあるが、全期間を通じて最大速度振幅100 μ kine以上の地震は読み落しはないと思われたので、これより大きい地震の日別頻度を示したのが第2図である。図中に点のない日は欠測である。上杵臼で多数の余震が観測された地震の所にはそのマグニチュード M の値を記入して点を点線で結んで示してあるが、このような地震は1964年には6回、65年には2回発生したが66年には1回も起きていない。

1964~66年の地震活動を調べるために、札幌管区気象台から毎月発行されている「北海道

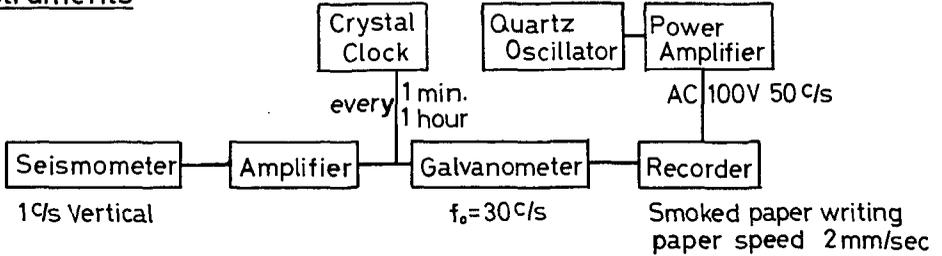
1) 例えば、本谷義信・米田征弘・佐々木嘉三；日高地方における微小地震観測—1964—，北大地球物理研究報告，14 (1965)，73-80。

2) 本谷義信；浦河地震観測所における地震観測 (I)，北大地球物理研究報告，22 (1969)，39-48。

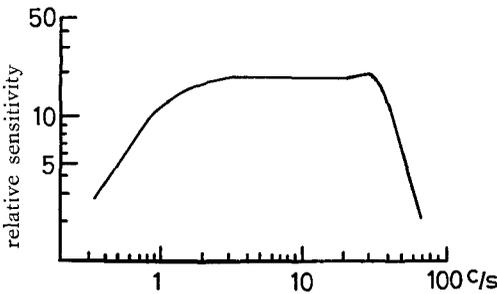
Temporary Station: Kamikineusu

Location Latitude: 42°13.9'N, Longitude: 142°58.0'E, Hight: 170m

Instruments



Frequency Response



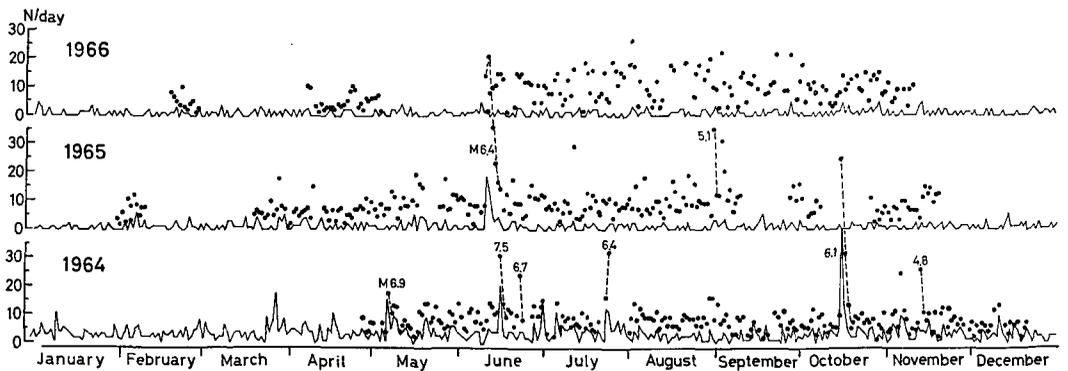
Sensitivity

term	sensitivity at 10 c/s
1964 May — June	190 μ kine/mm
July — Aug.	80
Sept. — Dec.	120
1965 Jan. — Oct.	110
1966 Feb. — Apr.	(low sensitivity)
June — Nov.	105

第1図 観測の概要

Fig. 1. Outline of the observation

地震火山月報」により、浦河測候所の地震の数も第2図に折線で入れてある。ただし、1965年以降は検測基準の変更があったために地震の数はかなり少なくなっているがここでは報告されている地震数をそのまま用いてある。上杵臼で観測していない期間については、1964年3月末に地震が多いがこれはアラスカ地震 ($M \approx 8.5$) の余震によるものである。



第2図 上杵臼で速度振幅 100 μ kine 以上の地震の日別頻度 (●) と浦河測候所の日別地震回数 (∨)

Fig. 2. (●) Daily frequency of earthquakes with maximum velocity amplitude 100 μ kine and larger at Kamikineusu (∨) Daily frequency of earthquakes at Urakawa Weather Station (JMA)

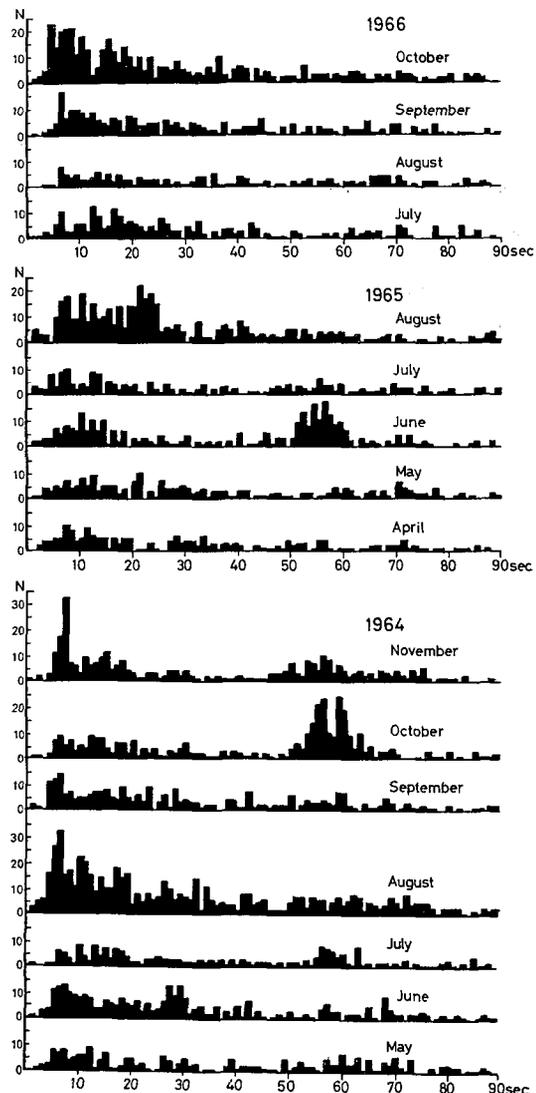
1966年6~10月には上杵臼で観測された地震回数はやや多くなっているが、これは大きな地震の発生は少ないけれども小さな地震が多かったためである。「北海道地震月報」にはA級地震(59型直視式電磁地震計で記録上全振幅1mm以上)の観測結果のほかにそれより小さいB級地震(59型光学式電磁地震計に記録された全地震からA級地震を除いたもの)の月別回数が報告されているが、浦河測候所では1965年6~10月にはA級地震が175回、B級地震が369回であった。一方66年6~10月にはA級が140回に対してB級が504回であるから、このことも66年には相対的に小さな地震が多かったことを示している。

これらのことから北日本周辺の地震活動はエネルギー放出の点からみれば、1964年には活発であったのが66年には静かになったといえる。

IV. S-P 時間の頻度分布

1点だけの観測では震央を求めることは出来ないが、S-P 時間から地震の空間分布を推定した。S-P 時間が90秒以内の地震についてその頻度分布を第3図に示す。ここでは小さな地震でもS-P 時間の読めものはすべて使っている。

1964年5月には男鹿沖地震($M=6.9$)、6月には新潟地震($M=7.5$)が発生し多数の余震が記録されたが、これらの上杵臼における記象型はやや長周期のP波が簡単な形で出現するだけでS波はほとんど見出せないものであった。このためS-P 時間の分布ではこれらの余震に相当する所にピークは出ていない。64年6月の26~31秒のピークは根室南東方沖地震($M=6.7$)、10月の50~65秒のピークはエトロフ島沖地震($M=6.1$)、11月の5~7秒のピークは浦河沖地震($M=4.8$)のそれぞれ余震によるものである。また、1965年6月の50~60秒のピークは再びエトロフ島沖の地震($M=6.4$)、8月の20~25秒のピークは弟子屈地



第3図 S-P 時間の頻度分布

Fig. 3. Frequency distributions of S-P intervals

震 ($M=5.1$) による余震である。1966 年には多数の余震を伴うような地震がなかったことがこの図からもわかるが、浦河沖付近で地震活動が活発となり、9 月には S-P 時間 6 秒に著しいピークがみられるし、10 月には S-P 時間 4 秒の微小群発地震が発生した。

全体的にみると S-P 時間が 50~60 秒のエトロフ島沖周辺地震は時の経過とともに少なくなっているが、これらの地震が 1963 年のエトロフ島沖大地震 ($M=8.1$) の余震と考えられるかどうかの詳しい検討はここではしていない。また、この観測期間中には東北地方太平洋側には特に目立つほどの地震は発生していない。

V. 前震・余震・群発地震

1. 微小余震

微小地震観測が行なわれるようになってから、今まで余震を期待出来なかったような小さな地震でも余震が観測された例がいくつか報告されている³⁾。今回の観測中にも微小余震を伴う地震がいくつかあったので、次の調査を行なった。

「北海道地震月報」に震源が記載されている地震のうちで、震央が $40^{\circ}\sim 44^{\circ}\text{N}$, $142^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$ の範囲にあり深さが 100 km より浅い地震について、余震現象がみられたかどうかを調べた。

第 1 表 調べた地震の表

Table 1. The list of earthquakes investigated

Date	Location	M_0	M_1	t_1	$M_0 - M_1$	M_{\min}
1964 May 8	E off Aomori Pref.	4.4				
May 18	Hidaka mountains	3.3				
May 20	E off Aomori Pref.	4.3	1.2	10 ^m	3.1	1.0
May 31	E off Aomori Pref.	4.7				
June 6	off Urakawa	4.0	1.0	52	3.0	0.3
June 15	Hidaka mountains	2.9	0.8	40	2.1	
July 9	Middle of Hokkaido	2.9	2.8	swarm	0.1	1.2
July 11	off Urakawa	4.3				
July 13	off Urakawa	3.1				
July 16	E off Aomori Pref.	3.7	1.1	25	2.6	
Aug. 8	off Urakawa	3.3				
Aug. 14	E off Aomori Pref.	3.6				
Aug. 17	Hidaka mountains	5.1	1.0	19 ^h 32 ^m	4.1	0.1
Aug. 23	off Kushiro	3.8	3.0	1 23	0.8	(3)
Aug. 30	N of Urakawa	4.2	1.3	5 56	2.9	0.8
Sept. 8	E off Aomori Pref.	3.7				
Sept. 15	off Urakawa	3.1				
Sept. 27	off Urakawa	4.3				
Oct. 5	Hidaka mountains	5.3				
Oct. 8	off Urakawa	3.8				

(to be continued)

3) 例えば、岡野健之助・中村正夫；余震を伴った小さな地震，地震 II, 20 (1967), 98-105.

Date	Location	M_0	M_1	t_1	$M_0 - M_1$	M_{\min}
1964 Oct. 8	Hidaka mountains	3.4				
Oct. 30	off Urakawa	3.7	1.0	20 ^m	2.7	
Nov. 13	off Urakawa	4.8	2.8	43	2.0	0.6
Nov. 22	off Tokachi	4.4				
Nov. 24	off Kushiro	3.7				
Nov. 25	off Kushiro	3.8				
Dec. 8	off Tokachi	4.4	2.6	3	1.8	2.0
Dec. 11	off Erimo cape	3.5	1.5	6 ^b 53 ^m	2.0	
Dec. 16	Hidaka mountains	4.3				
1965 Feb. 6	off Hiroo	4.0*				
Mar. 29	E off Aomori Pref.	6.4	5.4	29 11	1.0	1.8
Mar. 31	Hidaka mountains	3.6	unknown	13		
Apr. 6	E off Aomori Pref.	4.4				
Apr. 7	off Urakawa	3.2				
Apr. 13	off Kushiro	3.8				
May 8	coast of Tokachi	4.2*				
May 14	Hidaka mountains	3.9*				
May 15	off Urakawa	4.0				
May 18	off Tokachi	4.1	3.7	1 38	0.4	2.3
May 19	Hidaka mountains	3.5				
May 30	Hidaka mountains	3.0				
June 7	E off Aomori Pref.	4.2				
June 13	SE off Erimo cape	6.0	2.0	12 16	4.0	0.8
June 28	off Urakawa	4.4*				
June 29	Hidaka mountains	3.7	1.5	31	2.2	
Aug. 3	Hidaka mountains	4.4	3.8	35	0.6	
Aug. 31	near Teshikaga	5.1	5.0	15	0.1	
Sept. 5	off Urakawa	4.1	1.5	20 39	2.6	0.2
Sept. 29	off Urakawa	4.2	4.0	4 57	0.2	
Nov. 17	off Urakawa	4.2				
1966 Feb. 20	off Urakawa	4.3				
Feb. 20	off Urakawa	4.3**				
June 17	Hidaka mountains	4.4				
June 22	off Urakawa	4.6				
July 2	off Urakawa	4.2				
July 23	off Urakawa	3.8				
Aug. 1	Hidaka mountains	4.0*				
Aug. 8	Hidaka mountains	5.2	unknown	4		
Sept. 1	off Urakawa	4.3	2.0	14 45	2.3	
Sept. 5	near Erimo cape	4.3				
Sept. 22	off Urakawa	4.1				
Sept. 28	off Urakawa	4.1	2.9	11 47	1.2	0.0
Oct. 6	off Urakawa	3.7				
Oct. 16	near Erimo cape	5.0	2.1	19	2.9	0.0

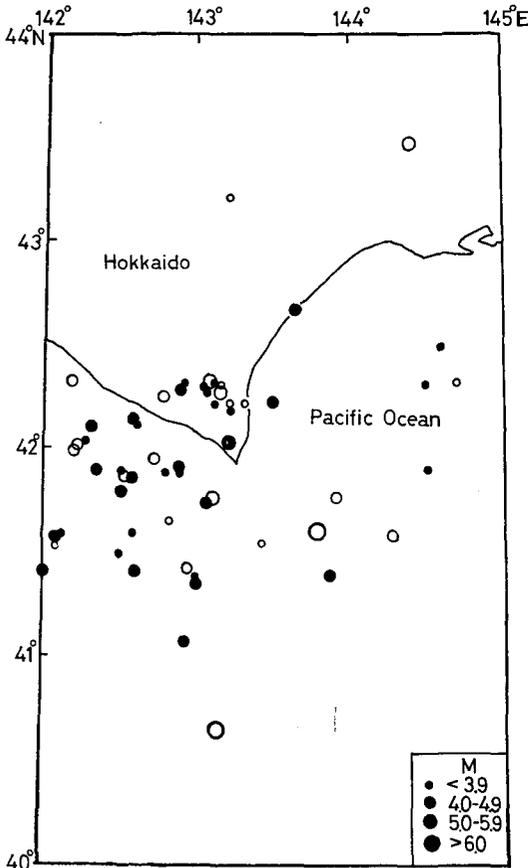
* accompanied by aftershocks?

** The latter is slightly larger than the former.

調べた地震を第1表に示すが、他の地震の余震であることが明らかなのは除いてある。気象庁によりマグニチュード M_0 が与えられていない地震については、「北海道地震月報」の資料により坪井の式を使って M_0 を計算した。このような調査をするときには余震の定義そのものが問題となるがここでは「調べようとする地震から1日以内に発生するほとんど同じS-P時間の地震」を一応の目安としているが、最大振幅 $100 \mu\text{kine}$ 以上の地震だけをみていると余震があったかどうか判然としないことが多かった。しかし、もっと小さな地震まで調べると、その時間的発生系列から明らかに余震とみられるものはいくつか見つかった。実際にはこれらの大部分は地震記象の読取り段階で直観的に余震があったと認められたものであり、この意味では余震現象はかなりはっきりしたものであるといえよう。明らかに余震群が見られたものについて

は、最大余震のマグニチュード M_1 、本震から最大余震が発生するまでの時間 t_1 、本震と最大余震とのマグニチュードの差 $M_0 - M_1$ 、観測された最小の余震のマグニチュード M_{\min} を第1表にのせてある。上枠白だけで観測された微小地震のマグニチュードは村松のダイヤグラム⁴⁾により推定した。この表の地震の震央分布を示したのが第4図で、白丸が余震の観測された地震である。

どの位小さな地震まで余震を伴うのかは興味のある問題であるが、第1表からマグニチュード別に全地震に対する余震が観



第4図 第1表の地震の震央分布。白丸は余震が観測された地震

Fig. 4. Epicenters of earthquakes listed in Table 1. Open circles represent earthquakes accompanied by observable aftershocks.

第2表 余震が観測された地震の割合

Table 2. Percentage of earthquakes accompanied by aftershocks

Magnitude	n_1	n_2	n_2/n_1 (%)
2.9 ~ 3.4	10	2	20
3.5 ~ 3.9	17	6	38
4.0 ~ 4.9	31	11	35
5.0 ~ 5.9	5	4	80
6.0 ~ 6.4	2	2	100

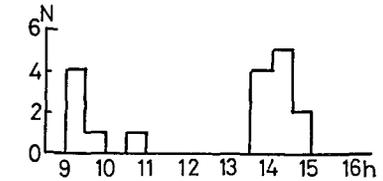
n_1 : number of all earthquakes investigated
 n_2 : number of earthquakes accompanied by observable aftershocks

4) 村松郁榮; Magnitude の式の訂正および注釈, 地震 II, 19 (1966), 282-285.

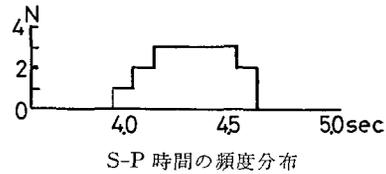
測された地震の割合を調べたのが第2表である。気象庁の資料により日本周辺の地震について宇津が調べた結果⁵⁾ではこの割合は M 5.0~5.9 のとき約 50%, 6.0~6.4 のとき約 70% で M 7.0 以上であれば必ず余震が観測されている。茂木によると日本付近の地震の余震活動には地域的な差があることが知られている⁶⁾から、ここで得られた余震を伴う地震の比率も場所によって違ったものになるかも知れないが、高感度の観測をすると本震の M が 5 程度でもほとんどの場合に余震があり、 M が 3.5~4.9 の範囲でもその約 40% には余震が観測されることが期待される。今まで微小余震が観測された例の多くは地殻内の地震であったが、ここで調べた地震は弟子屈地震と十勝川上流域の群発地震のほかは大部分が深さ 40 km 以深で地殻直下で発生しているものと思われる。後にのべるように M_0 が 3.4 以下の地震では、本震と最大余震との M の差を考慮すると検知能力が $M \approx 0$ 程度の観測では余震を見つけることはむずかしいことであろう。

2. 微小群発地震

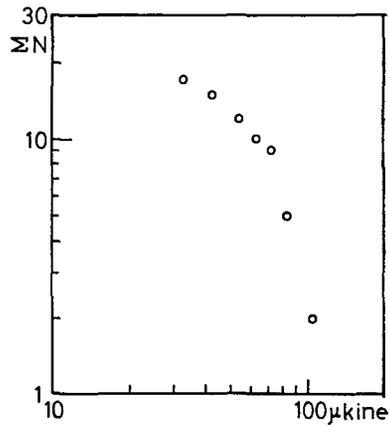
1966 年 10 月 2 日に小規模の群発地震があったのでこれについて調べた。発生頻度を 30 分毎に示したのが第 5-a 図である。09 時 34 分に最初の地震があり、15 時 30 分以後にはこの地震群に属すると思われる地震は発生していない。この地震群に含まれる最大の地震のマグニチュードはほぼ -0.5 で、09 時 45 分と 11 時 17 分に発生している。S-P 時間の頻度分布を第 5-b 図に示すが、S-P 時間の差が 0.6 秒のせまい範囲に集中的に発生していて、その震源域の直径は 4~5 km を越えないであろう。最大振幅の頻度分布は第 5-c 図のようになり、石本・飯田の関係式の係数 m の値は普通の値 $m=2$ かこれよりやや大きい程度と思われる。なお、1964 年 9 月 9~14 日に S-P 時間、記象型から判断すると、この地震群と同じ震源をもつものでは



a Half-hourly frequency distribution of earthquakes



b Frequency distribution of S-P intervals



c Cumulative frequency distribution of maximum amplitudes

第5図 1966年10月2日の群発地震
Fig. 5. An earthquake swarm of October 2, 1966

5) T. UTSU; A Statistical Study on the Occurrence of Aftershocks, Geophys. Mag., 30 (1961), 521-605.
6) K. MOGI; Some Discussion on Aftershocks, Foreshocks and Earthquake Swarms, Bull. Earthq. Res. Inst., 41 (1963), 615-658.

ないかと思われる地震が5回発生していた。

3. 多数の余震を伴った地震

統計処理が出来る程度に多くの余震が観測された地震について調べたことをのべる。調べた地震を第3表にのせ、余震の数の減少の様子(第8図)、マグニチュードの分布(第9図)、S-P時間の分布(第10図)は後にまとめて示してある。

第3表 多くの余震を伴った地震

Table 3. The list of earthquakes accompanied by remarkable aftershock activities

No.	Date and Time (JST)	Location	Hypocenter			M	Remarks
			E	N	depth		
1	1964 May 7 ^d 16 ^h 58 ^m	off Oga Pen.	139°00'	40°20'	00 km	6.9	Slight damage and minor tsunami
2	June 16 13 01	off Niigata Pref.	139°11'	38°21'	40	7.5	Casualties, severe damage and tsunami
3	May 31 09 40	E off Hokkaido	147°14'	43°16'	60	6.7	Slight damage; foreshock of No. 4?
4	June 23 10 26	off E coast of Hokkaido	146°28'	42°59'	80	(6.7)	Slight damage
5	July 24 17 14	Kurile Is.	153°21'	45°48'	20	6.4	Preceded by foreshocks
6	Oct. 16 17 19	off Etorofu Is.	149°58'	43°23'	60	6.1	Preceded by remarkable foreshocks
7	1965 June 11 12 34	off Etorofu Is.	148°48'	43°39'	00	6.4	No foreshock
8	Aug. 31 16 49	E part of Hokkaido	144°26'	43°29'	00	5.1	Slight damage
9	1964 Aug. 30 14 11	near Urakawa	142°47'	42°14'	60	4.2	
10	Nov. 13 04 57	off Urakawa	142°43'	41°59'	80	(4.8)	
11	1965 Mar. 29 19 47	E off Aomori Pref.	143°09'	40°39'	40	6.4	

3-1 男鹿半島沖地震 (No. 1)

大地震の直後の余震活動を調べることは興味のある問題であるが、地震発生後に行なわれる臨時の余震観測では本震直後のデータは得られない。常時観測中に観測点からやや遠い所で大地震が発生すると、本震を含めてその直後より余震が記録され、このようなデータを用いた研究もいくつかなされている⁷⁾。この男鹿半島沖の地震の場合にも本震直後から完全な記録が得られており、マグニチュードの分布を調べるとM3.5以上の余震ならもれなく観測されているものと思われる。

余震の数の減衰曲線として

$$n(t) = A(t+c)^{-p} \quad (1)$$

を採用した場合、 c の値が0であるかどうかの議論がある。この地震については東北大学余震観測班の報告⁸⁾があり、その中では $p = 1.34$ と与えられており、 c についてははっきりのべら

7) 例えば、広田知保; 1968年1月29日色丹島沖地震の余震活動—とくに本震直後の余震について—, 北大地球物理研究報告, 21 (1969), 33-43.

8) Research Group for Aftershocks; On the Aftershocks of Oga Earthquake, May 7, 1964, Sci. Rep. Tohoku Univ. (Geophy.), 16 (1965), 146-163.

れていないが(1)の代りに

$$n(t) dt = k/t^p dt$$

を採用していることから $c \approx 0$ としていることがわかる。このとき使われた資料は秋田測候所で EW 成分の振幅 2.5μ 以上をもつ余震で、坪井の式により M を推定するとほぼ 3.1 以上になる。 $p=1.34$ とすると本震から 1 日以後では上杵臼の観測結果はうまく説明されるが、本震直後の 1 日間の余震の数は傾き $p=1.34$ の直線から予想される数よりもはるかに少ない。そこで、 $p=1.3$ とし t/c を時間軸の単位にとって(1)式のグラフを描き、 c の値をいろいろ変えたとき観測結果にもっともよく合うような曲線を選んでみる。得られた曲線を第 8 図に引いてあるが、 $c=0.25$ 日とすると余震の数の減り方は本震直後から(1)式で大体うまく表わされていることがわかる。本震から 10 日以後では上杵臼で常時観測される地震の中から余震を同じ精度で見つけ出すことは出来なかった。

3-2 新潟地震 (No. 2)

とても大きい地震であったので本震から 30 分間の記録は連続的に振切れているが、それから後では $M 4.0$ 以上の余震はもれなく観測されていると思われる。この地震については多くの研究が行なわれており、余震観測の結果も発表されていて、気象庁の資料によると p として 1.6~1.7 の値が得られ、余震の数の減少がやや急であったといわれている⁹⁾。しかし、上杵臼の観測で本震から 10 日以内についてみると余震の減り方はそれほど急にはみえない。また、この地震について筑波山の資料により本震直後からの余震が調べられた報告¹⁰⁾があるが、それによっても $t < 10$ 日で p が 1 を越しているとは思われない。この場合についても、 $p=1.6$ としてよくあうような曲線をさがすと $c=0.33$ 日とすれば本震直後からのデータを矛盾なく説明出来るようである。

3-3 根室周辺の地震

1964 年 5 月 31 日に根室東方沖に顕著地震 (No. 3) が発生し、釧路市内の商店などに若干の被害があった。この地震に続いてその余震と思われるものが発生したが、その数の時間的な減り方は(1)式には従っていないようであり、本震後 0.048~0.96 日の間には全く地震は観測されていないし、9 日以後急に活動度が低くなっている。

この地震から 23 日後の 6 月 23 日には根室南東方沖に顕著地震 (No. 4) が発生し、根室、釧路地方では建物・通信線・鉄道などに再び若干の被害を受けた。気象庁によるとこの地震の深さは 80 km でマグニチュードは発表されていないが、北海道内の 14 の測候所の資料により坪井の式で計算した M の平均値は 6.71 であり、5 月 31 日の地震は 6.64 (気象庁によると 6.7) であるから、6 月の地震の方がわずかに大きかったらしい。この地震の余震の数の減り方は普

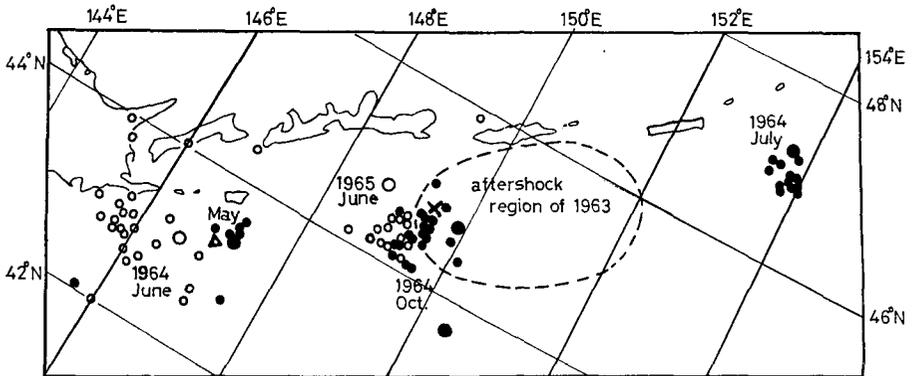
9) 例えば、The Parties for Aftershock Observation; Observation of Aftershocks of the Niigata Earthquake of June 16, 1964, Bull. Earthq. Res. Inst., 46 (1968), 204-222.

10) 宮村撰三・辻浦 賢; 新潟地震とその余震の筑波における観測, 震研速報, 8 (1964), 15-21.

通であるが、 c の値はきわめて0に近いと思われる。

この2回の地震群のマグニチュード分布は M が3.2以下では同じであるが、大きい地震は5月の方が多かった。このことと、No. 3の地震に続く地震群の時間的発生の様子が(1)式には従っていないこととは、これらの地震が6月23日の地震の前震であることを示唆しているのかも知れない。

5月31日の地震があつてから1964年末までに根室周辺で起きた地震の震央分布を第6図に示す。資料は「北海道地震月報」によるが、根室、釧路測候所のS-P時間に上梓臼のデータを加えることによって震央が求まったものをいくつか加えてある。これらは M がほぼ3.0以上の地震の分布である。いまのべた2つの地震群の中間付近には地震が少ないことがわかる。また、震央が求められている地震はないが、S-P時間の分布からは5月31日~6月23日の間にNo. 4の地震の周辺で起きている地震も多かったと思われる。なお1968年1月にはNo. 3の地震の近くに $M=6.9$ の地震が発生しており、広田はこの地震を色丹島沖地震と呼んでその本震直後からの余震活動の調査を行なっている¹¹⁾。



第6図 No. 3~No. 7の地震とその余震の震央

Fig. 6. Epicenters of earthquakes No. 3 to No. 7 in Table 3 and their aftershocks.

- × epicenter of the earthquake of October 13, 1963 ($M=8.1$)
- △ epicenter of the earthquake of January 29, 1968 ($M=6.9$)

第4表 根室周辺の地震の月別回数

Table 4. Number of earthquakes with magnitude larger than about 3 which occurred E and SE off Hokkaido

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1964	(3)	(4)	(2)	(1)	6	18	2	3	1	1	0	1
1965	(1)	0	2	(1)	8	3	1	4	0	0	(2)	(3)
1966	(2)	2	3	(2)	(1)	2	2	0	2	3	3	—

Figures in () are based on the data from Sapporo Meteorological Observatory.

11) 前出7).

根室周辺と岩手・宮城県沖に発生する地震はどちらも上杵臼では S-P 時間が 25~35 秒で観測されるが、上杵臼で最大振幅 300 μ kine 以上を示す地震が根室周辺に発生すれば少なくとも根室測候所には記録されていることがわかったので、根室周辺で起きたことが確かである地震の月別回数を調べると第 4 表のようになった。上杵臼で観測していない期間は「北海道地震月報」により補ってある。この表から 1964 年 5 月と 6 月、65 年 5 月に地震が多かったことがわかる。いまのべたように 64 年 5 月、6 月は「本震—余震」型の活動であったのに対して、65 年 5 月には目立つほど余震を伴うような地震の発生はなく最大の地震で $M 5.1$ であった。普段地震活動が活発な地域ではある地震の余震がいつまで続くかを知るのはむずかしいことであるが、1964 年 5 月と 6 月の地震の $M 3.0$ 以上の余震は 12 月頃には月 1 回位に減少しているの、65 年 5 月の活動にはこの余震はほとんど寄与していないと思われる。

3-4 千島列島の地震

1964 年 7 月 24 日 17 時 14 分に千島列島中部に $M 6.4$ (JMA) の地震 (No. 5) があり余震が多数発生した。この地震の 82 分前の 15 時 52 分にはほとんど同じ場所にやや小さい地震 (JMA 速報によると $M 6 \frac{1}{4}$) が発生した。このあと残念ながら本震直前まで上杵臼では欠測しているが、根室測候所では明らかに千島列島中部で発生したと思われる地震を 2 個記録しているから、前震活動があったことは間違いない。

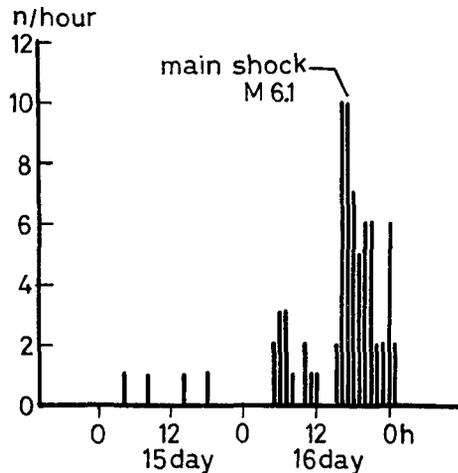
余震の数の減少については $p=0.8$ で c はほとんど 0 と思われるが、25 日 02 時の最大余震 ($M 6.0$) の後にしばらくの間余震活動が活発化したことがみられる。

1964 年 10 月 16 日のエトロフ島沖地震 (No. 6) は $M=6.1$ で 17 時 19 分に発生したがその約半日前から明らかに前震活動がみられた。前震と本震直後の余震の発生頻度を第 7 図に示す。最大前震は 16 日 05 時 27 分と 16 時 01 分に発生しともに $M 5.9$ であった。なお、U.S. COAST and GEODETIC SURVEY によると 16 時の地震のマグニチュードは $m=5.5$ で、17 時 19 分の地震が $m=5.2$ とされているが、「北海道地震月報」をみても 17 時の地震の方が大きかったことは明らかである。

マグニチュード M の分布は一般には

$$\log N = a - bM \quad (2)$$

で表わされて、係数 b の値については前震の方が余震より小さいという報告¹²⁾もある。しかし



第5表 No.7の地震の主要な余震の
マグニチュード

Table 5. Magnitudes of main aftershocks of the earthquake No. 7

Time	M_{JMA}	M_{SMO}	m
11d 12h42m		(5.69)	
13 15	5.2		5.2
13 45	5.2		5.4
16 11	5.3	5.47	5.5
16 28	5.2		5.2
17 41	5.3	5.34	5.1
19 17	5.1		5.0
21 00		5.50	5.2
14 29			4.6
14 29			5.7
14 41	5.3	5.30	5.6
15 04	5.3	5.27	5.2
15 47	5.2		5.0
13 07 17	5.2		5.3
20 10 58	5.3	5.35	5.4
29 11 05	5.3	5.29	5.5

M_{JMA} ; Japan Meteorological Agency
 M_{SMO} ; Sapporo Meteorological Observatory
 m ; U.S. Coast and Geodetic Survey

8分後に明らかに余震と認められる地震が、釧路、浦河、函館の3カ所で検測されていて、これもかなり大きかったらしくこの3カ所で求めたマグニチュードの平均は5.69である。この地震は当然他の官署でも記録されているのであろうが、本震直後のため検測出来なかったものと思われ、U.S.C.G.S.でも震央は発表されていない。また、12日14時29分には m が4.6と5.7の余震が続いて発生したが、日本付近の観測点ではこの2回の地震が重被して記録されているためか M_{JMA} は求められていない。しかし北海道内測候所の最大振幅からは M_{SMO} は5.3以下と思われる。これらのことを考えた上で、ここでは11日16時11分の地震を最大の余震とみなしておくことにする。

なお、このNo.7の地震には前震は見られなかった。

いままでのべてきたNo.5, 6, 7の3つの地震群のU.S.C.G.S.による震央分布を第6図に示す。1963年10月のエトロフ島沖大地震($M=8.1$)の余震域は本震より北東方へ広がっていて、今回の地震の余震域と重なる部分は少ないようである。

3-5 1965年の弟子屈地震 (No. 8)

8月31日16時49分($M=5.1$)および17時04分($M=5.0$)の2回にわたり弟子屈付近で最大震度IVの地震が発生して小被害があった。この地域の地震活動については広田の調

この地震の前震と余震について M の分布を調べると M 4.2付近で折れまがりが見られ、 M の広い範囲については(2)式に従っていないようにみえる。 M が4.6より小さい範囲では前震も余震もほとんど同じ分布を示すが、前震に M 4.6以上の大きい地震が多いことは b の値が小さいといわれることと関連して注目されてよいであろう。なお、前にのべたようにNo.3とNo.4の地震の余震の M の分布がこの例とよく似ていることがわかる。

1965年6月11日のエトロフ島沖地震(No.7)。本震のマグニチュードは6.4(JMA)で本震後1時間10分の間は記録が連続的に振切れているために読取不可能であった。主要な余震について、気象庁のマグニチュード M_{JMA} 、「北海道地震月報」から資料をとり北海道内8カ所の測候所について坪井の式を用いて計算したマグニチュードの平均値 M_{SMO} 、U.S.C.G.S.の震源速報のマグニチュード m の値を第5表に示した。11日21時の余震は $M_{SMO}=5.50$ であるが気象庁では震源決定されていない。さらに、本震から

査¹³⁾があるが、ここでの地震は典型的な群発地震でもなく、また普通の「本震—余震」型とも異なる発生の仕方をすることが多いといわれている。今回の例でも、ほとんど同じ大きさの地震が最初に2回続いて、9月9日にもまた $M=5.1$ の地震が発生している。この最後の地震に伴う余震活動もみられた。

3-6 浦河周辺の地震

1964年8月30日に浦河北方で発生した地震 (No. 9) のマグニチュードは4.2であったが明らかに余震と思われる微小地震が4日間ほど続いて観測された。

1964年11月13日の浦河沖の地震 (No. 10)。「北海道地震月報」から求めた本震のマグニチュードは $M 4.8$ である。この地震については、本震後12分間は(1)式で予想されるよりもはるかに少ない余震しか起きていない。

1965年3月29日の青森県東方沖の地震 (No. 11)。この地震についても本震後30分間の余震の発生はやや少なかったようである。本震から30時間たって $M 5.4$ の最大余震が発生したが、その直後に余震活動がやや活発となった。なお、1968年十勝沖地震の周辺についてみれば、この地震から1967年12月に $M 4.8$ の地震が発生するまでの期間には、余震が観測された地震は発生していない。

これらの余震群についてマグニチュードの分布を調べると、地震の数は少ないけれども、他の地震にくらべて浦河沖と青森県東方沖では b の値が相当小さいのではないと思われる。このことは、この地域について M の小さい範囲についてこれまで得られている b の値が $0.5 \sim 0.6$ である¹⁴⁾ ことに対応していると思われる。

3-7 結果のまとめ

いままで調べた地震群についてまとめた結果を第6表に示す。

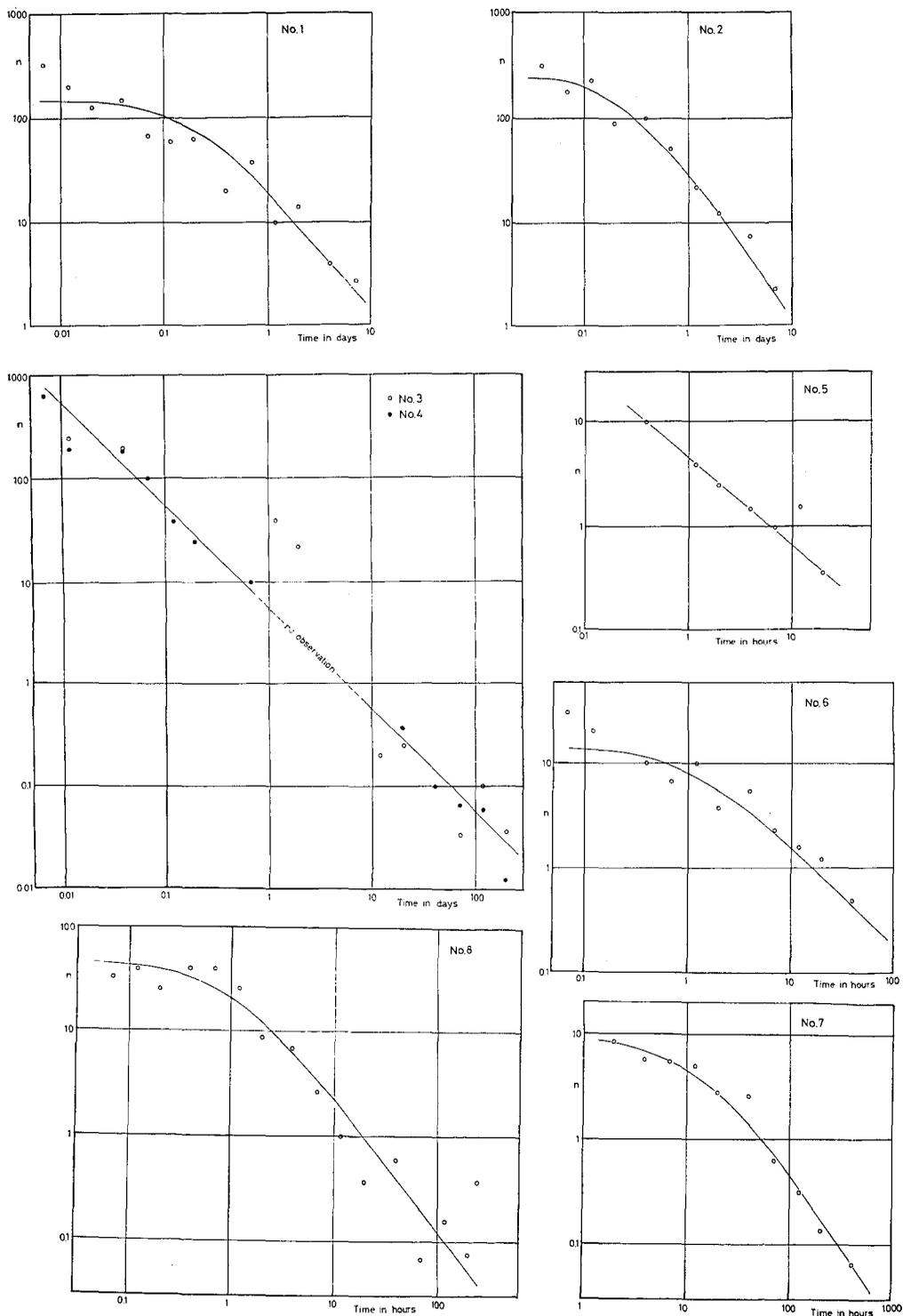
余震回数の時間的減り方については(1)式が成立つものと仮定しているが、観測された余震の数が多くない場合には観測資料から定数 p と c の値を決めるというよりは、いままで普通に p と c として知られている値を与えたときに観測結果がどの程度説明されるかを検討したが、No. 10の地震をのぞいては本震直後の余震から(1)式にかなりうまく合うことがわかった。 c の値はほとんど0の場合もあるが、本震直後の余震を説明するには c に適当な値を与える方がよいと思われる。ここで得られた結果では $c=0.01 \sim 0.6$ 日である。

余震についての統計的研究は数多いが、気象庁の資料に基づく宇津の論文¹⁵⁾はその代表的なものである。この論文では主としてマグニチュードが6以上の地震についての統計結果がのべられているが、その結果が小さい地震についてどの位あてはまるかを調べた。

13) 広田知保; 弟子屈周辺の地震活動 (1926~1968), 北大地球物理研究報告, 22 (1969), 49-72.

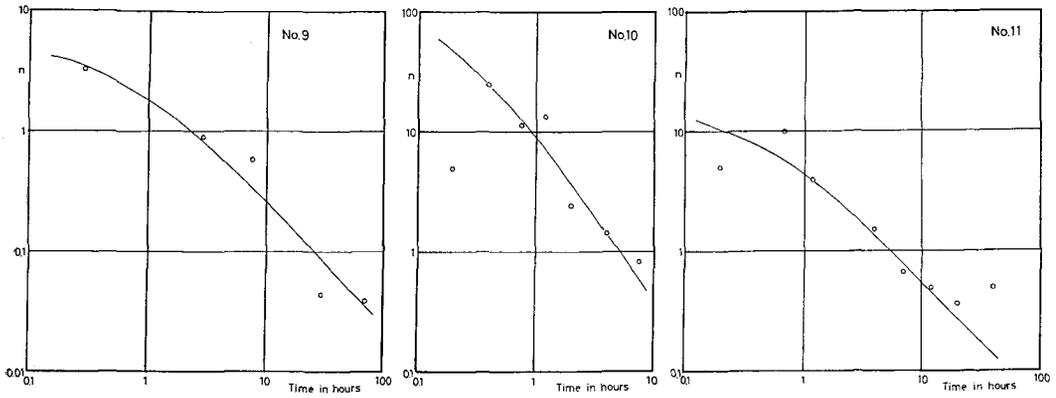
14) 前出2).

15) 前出5).



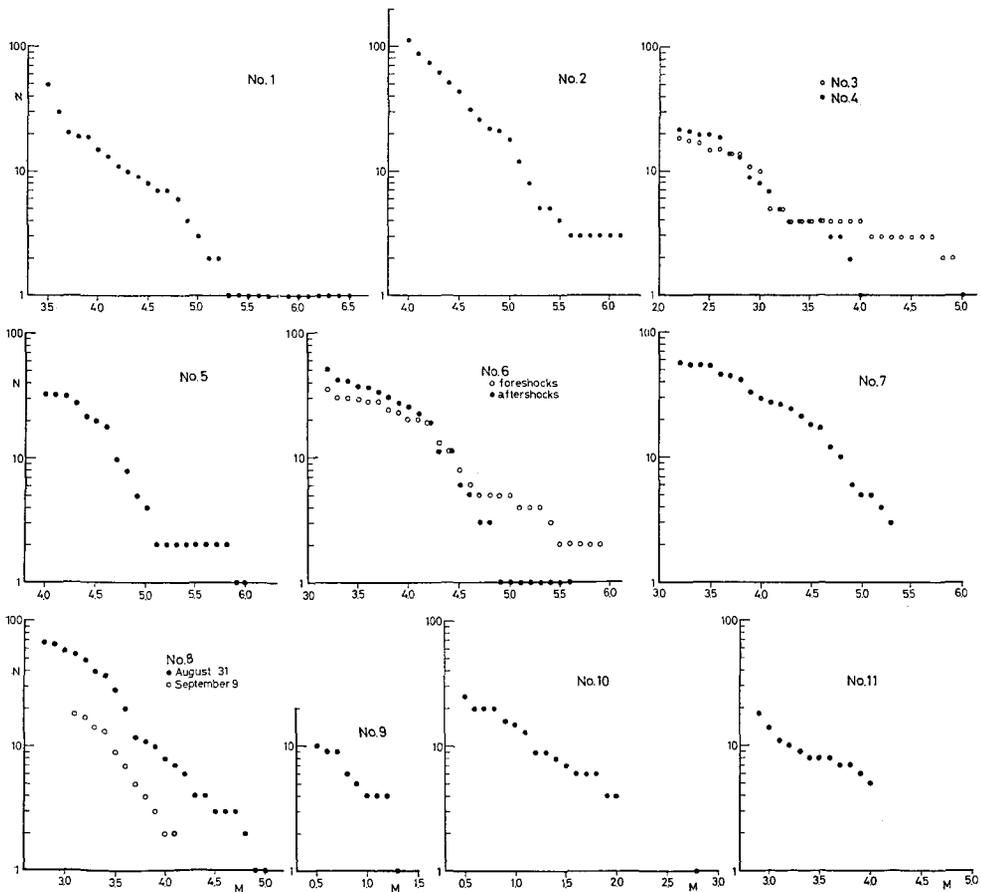
第 8-1 図 余震回数の時間的な減り方

Fig. 8-1. Time-frequency diagrams for aftershock sequences of the earthquakes in Table 3



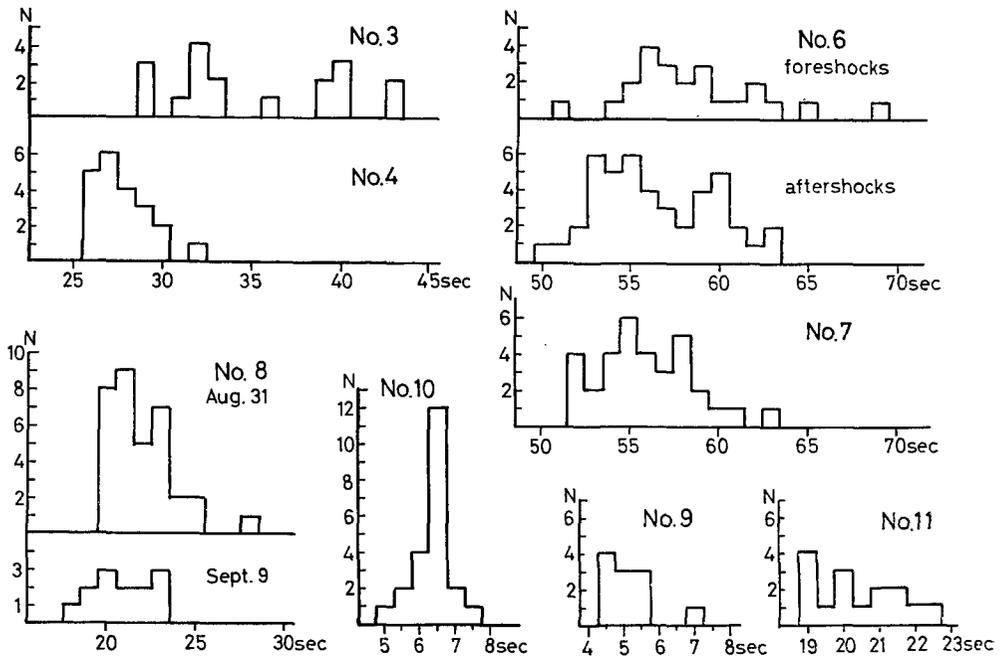
第8-2図 余震回数の時間的な減り方

Fig. 8-2. Time-frequency diagrams for aftershock sequences of the earthquakes in Table 3



第9図 余震のマグニチュード・累積頻度分布

Fig. 9. Magnitude-cumulative frequency relationships for aftershocks of the earthquakes in Table 3



第10図 余震のS-P時間の頻度分布

Fig. 10. Frequency distributions of S-P intervals of aftershocks of the earthquakes in Table 3

第6表 Table 6.

No.*	M_0	M_1	t_1	$M_0 - M_1$	p	c	b	D
1	6.9	6.5	12 ^h 15 ^m	0.4	1.3	0.25 ^d	0.60	
2	7.5	6.1	16	1.4	1.6	0.33	0.95	
3	6.64	5.0	1 ^d 17 ^h 42 ^m	1.6			(0.4)	
4	6.71	4.0	2 16 40	2.7	1.0	0.000	0.85	42 km
5	6.4	6.0	8 50	0.4	0.8	0.000	1.11	
6	6.1	5.6	1 10	0.5	1.0	0.05	1.10	67
7	6.4	5.3	4 37	1.1	1.5	0.58	1.15	59
8	5.1	5.0	15	0.1	1.3	0.042	0.85	34
9	4.2	1.3	5 56	2.9	1.0	0.021	1.0	10
10	4.8	2.8	46	2.0	1.6	0.011	0.57	19
11	6.4	5.4	1 5 11	1.0	1.0	0.014	0.45	27

* same as in Table 3

$M_0 - M_1$ と M_0 との関係 (第11図)。

図の点線は M_6 までに対して与えられている宇津の直線をそのまま M の小さい方へのばしたものである。本震のマグニチュード M_0 が4近くでもよくあっている地震もあるが、大半の地震は点線で期待されるよりも $M_0 - M_1$ は小さくなっている。しかし、これは多分に観測上の問題となってくるであろう。たとえば、もし M_0 が4付近で $M_0 - M_1$ の平均値が3であることを確かめようとするれば、 $M_0 - M_1$ のばらつきの大きいことを考えれば $M \sim -2$ 程度の余震ま

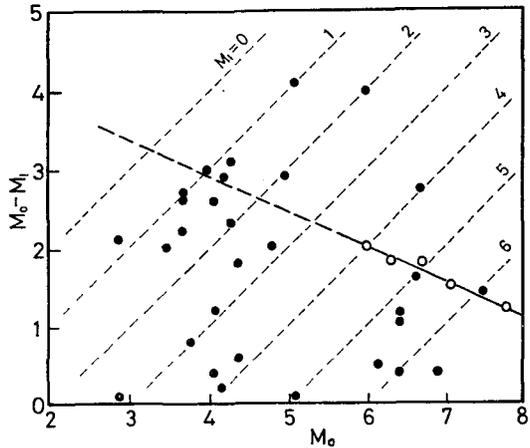
で観測しなければならず、極浅発地震を震央付近で観測するような例を除けばとてもむずかしいことであろう。

M_0 と t_1 との関係 (第 12 図)

宇津の結果をそのまま M の小さい方へひきのばすと M_0 が 4 付近では、本震から最大余震が発生するまでの時間 t_1 の平均が 3~4 分となるが、観測された結果ではほとんどの地震について t_1 は数分よりは長く、 M_0 が 4.0~4.2 の範囲では $\bar{t}_1 = 0.32$ 日 (約 8 時間) であった。最近宇津は日本付近の余震活動について再調査を行ない以前の結果を改訂して

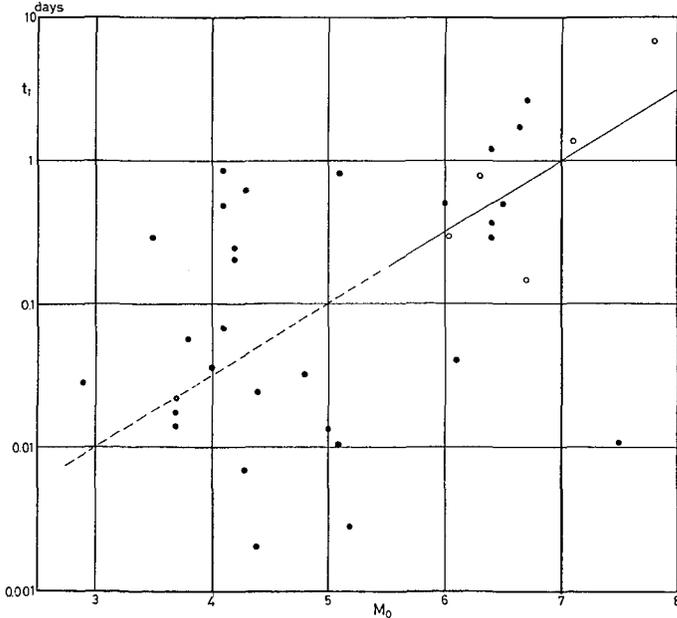
$$\log \bar{t}_1 = 0.5 M_0 - 3.5 \quad (M_0 \geq 5.5)$$

という式を得ている¹⁶⁾。第 12 図にはこの式を M_0 5.5 以下に延長した直線をひいてあるが、 M



第 11 図 $M_0 - M_1$ と M_0 の関係。○は宇津による中位数

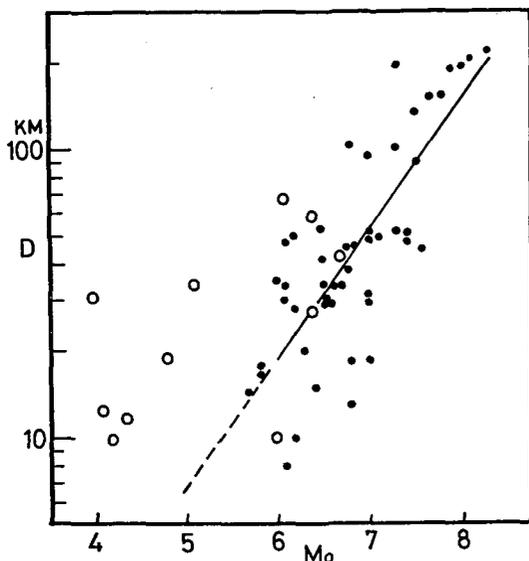
Fig. 11. $M_0 - M_1$ plotted against M_0 . Open circles and a solid line are taken from T. Utsu.



第 12 図 t_1 と M_0 の関係、○は宇津による中位数

Fig. 12. t_1 plotted against M_0 . Open circles and a solid line are taken from T. Utsu.

16) T. UTSU; Aftershocks and Earthquake Statistics (I), J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. VII, 3 (1969), in press.



第13図 余震域の linear dimension と本震のマグニチュードとの関係

Fig. 13. Relation between the linear dimension D of aftershock area and the magnitude M_0 of the main shock (after T. Utsu)

Open circles were added by this observation.

の小さい範囲の観測結果もうまく表わされていることがわかる。

M_0 と D との関係 (第13図)

余震の S-P 時間の最大のもとの最小のものとの差に8.4をかけて得られた値を余震域の直径 D としている。 M_0 が4~5の地震についてここで得られた値は宇津の式

$$\log D = 0.46 M_0 - 1.5$$

で計算されるものよりいずれも大きい。この式については微小地震についても成立しているという報告もある¹⁷⁾ので、さらに多くのデータを集めることが望まれる。とくにマグニチュードが5~6の地震の資料が不足しているが、これを得るにはもう少し長い期間の観測にまたねばならない。

VI. おわりに

上杵臼で行なわれた微小地震の連続観測についてのべた。観測は上下動一成分だけであり機械の保守も必ずしも充分とはいえないものであったが、浦河地震観測所が設立される前の3年間について利用出来る資料を得ることが出来た。

この観測と研究について終始御指導頂いた横山泉教授、宇津徳治助教授に厚く御礼申し上げます。また、観測には浦河第三中学校の宮谷哲司教諭の御世話になりました。1966年の記録の一部は浦河地震観測所の北構宗夫技術員に読取りをしてもらいました。さらに、浦河測候所の井出信一調査官には業務としては験測していない小さい地震の資料を見せて頂きました。ここに深甚なる謝意を表します。

17) 前出3).

4. Aftershock Sequences Recorded during a Microearthquake Observation in Hidaka District, Hokkaido (1964-1966)

By Yoshinobu MOTOYA

(Urakawa Seismological Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University)

From May, 1964 to November, 1966, a highly sensitive seismic observation was continued at Kamikineusu, southern part of Hokkaido. In this paper an aspect of the seismicity around Hokkaido and a study of some aftershock sequences observed in this observation are described.

It is shown that earthquakes with magnitude larger than 5 are mostly accompanied by aftershocks, and micro-aftershocks are observed for about 40% of the earthquakes of magnitude between 3.5 and 4.9. Earthquakes accompanied by remarkable aftershock activities occurred six times in 1964 and three in 1965, while none in 1966. These aftershock sequences were investigated and the results are given in Figs. 8, 9, 10 and Table 6. The decay of the frequency of aftershocks with time is well represented by the modified Omori formula $n(t) = A(t+c)^{-p}$.